

Jääkulkuneuvon esisuunnitelman arviointi

TUTKIMUSSELOSTUS  
VAL316-5021

Merenkukkuhallitus

VTT VALMISTUSTEKNIikka  
PL 1705, 02044 VTT  
Puhelin 90-4561, telekopio 90-455 0619

Tilaaaja Merenkulkuhallitus  
PL 158  
00141 Helsinki

Tilaus Lla 17/95, 7.2.1995

Käsittelijä Tapio Nyman p. 90-456 4546

## Raportin nimi JÄÄKULKUNEUVON ESISUUNNITELMAN ARVIOINTI

Yhteenveto Laskelmien perusteella arvioitavana oleva kulkuneuvo "SPAV B2" pystyy etenemään yleisimmissä jäätilanteissa Suomen rannikkoalueilla. Suurimman esteen muodostavat laajat valliintuneet jääkentät ja raskaat, paljon liikennöidyt laivarännit. Mikäli propulsiotehon ja ponttoonien pyörimisnopeuden ylärajat ovat 60 kW ja 5 l/s, arvioidaan maksiminopeudeksi paksussa uudessa lumessa, uudella ponttoonien pinnoitteella 7 m/s ja 3.5 m/s kuluneella pinnoitteella. Jäällä, mikäli pinnalla on ohut kerros kovaa lunta, ovat maksiminopeudet lumen nopeuksia korkeammat. Vedessä vastaava maksiminopeus on 5 m/s.

Laskelmien tuloksena saadut nopeus- ja tehoarvot eivät kuitenkaan ole riittävän tarkkoja, jotta niitä voitaisiin käyttää varsinaisen kulkuneuvon suunnittelussa, sillä niiden perustana olevien mallikoetulosten hyödyntäminen on vaatinut joitakin oletuksia (esim. lumen ja hiekan samankaltaisesta kitkakäyttäytymisestä), joiden tarkistaminen vaatii laajempia selvityksiä. Luotettavin tapa näiden selvitysten tekemiseen on joko malli- tai prototyyppikokeiden suorittaminen todellisissa olosuhteissa. Tärkeätä olisi etenkin saada lisätietoja ruuviponttoonin päämittaparametrien vaikutuksesta suorituskykyyn lumessa ja jäällä, sillä esimerkiksi tässä tarkasteltavana olevan kulkuneuvon ruuviponttoonin pituus-halkaisijasuhde ei vastaa kirjallisuudessa esitettyjä optimiarvoja.

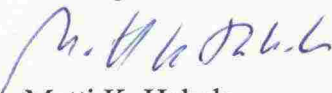
Ruuviponttoonien laakeroinnin ja kierteiden mitoituksessa on otettava huomioon niihin kohdistuvat iskumaiset rasitukset ponttoonin pyörimisnopeuden ollessa suuri liikuttaessa vedessä tai lumihangessa. Myös ranta-alueilla iskeytyminen kiviin on mahdollista.

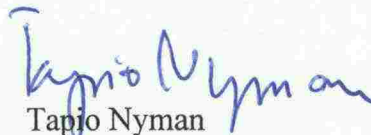
Jäällä ja lumessa etenemiseen vaikuttaa voimakkaasti ruuviponttoonin pinnoitteen laatu, sillä ruuviponttoonin pinnan ja lumen tai jään välisen kitkakertoimen kasvaessa kasvaa myös tehontarve. Pinnoitteiden käyttö on kuitenkin ongelmallista, koska kierteisiin kohdistuvat suuret iskut ja kuluminen voivat vioittaa pinnoitetta.

Tämän arvioinnin perusteella "SPAV B2":ta voidaan käyttää uuden jääkulkuneuvon suunnittelutyön pohjana.

Espoossa 15.3.1995

VTT, VALMISTUSTEKNIikka  
Laiva- ja konetekniikka

  
Matti K. Hakala  
Johtava tutkija

  
Tapio Nyman  
Tutkija

JAKELU Merenkulkuhallitus 5 kopiota  
VTT/Valmistustekniikka, arkisto 3 kopiota

VAL/V5SU00058/TEN

## SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO .....	2
1 JOHDANTO .....	3
2 JÄÄKULKUNEUVON TIEDOT .....	3
3 SUORITUSKYKY .....	4
3.1 Yleistä .....	4
3.2 Laskelmat vedessä .....	4
3.3 Laskelmat lumessa .....	6
3.4 Suorituskyky eri olosuhteissa .....	12
3.4.1 Eteneminen .....	12
3.4.2 Paaluveto .....	14
3.4.3 Esteiden ylitys .....	15
4 KRIITTISET OLOSUHTEET JA RASITUKSET .....	15
5 YHTEENVETO .....	16
LÄHDELUETTELO .....	17



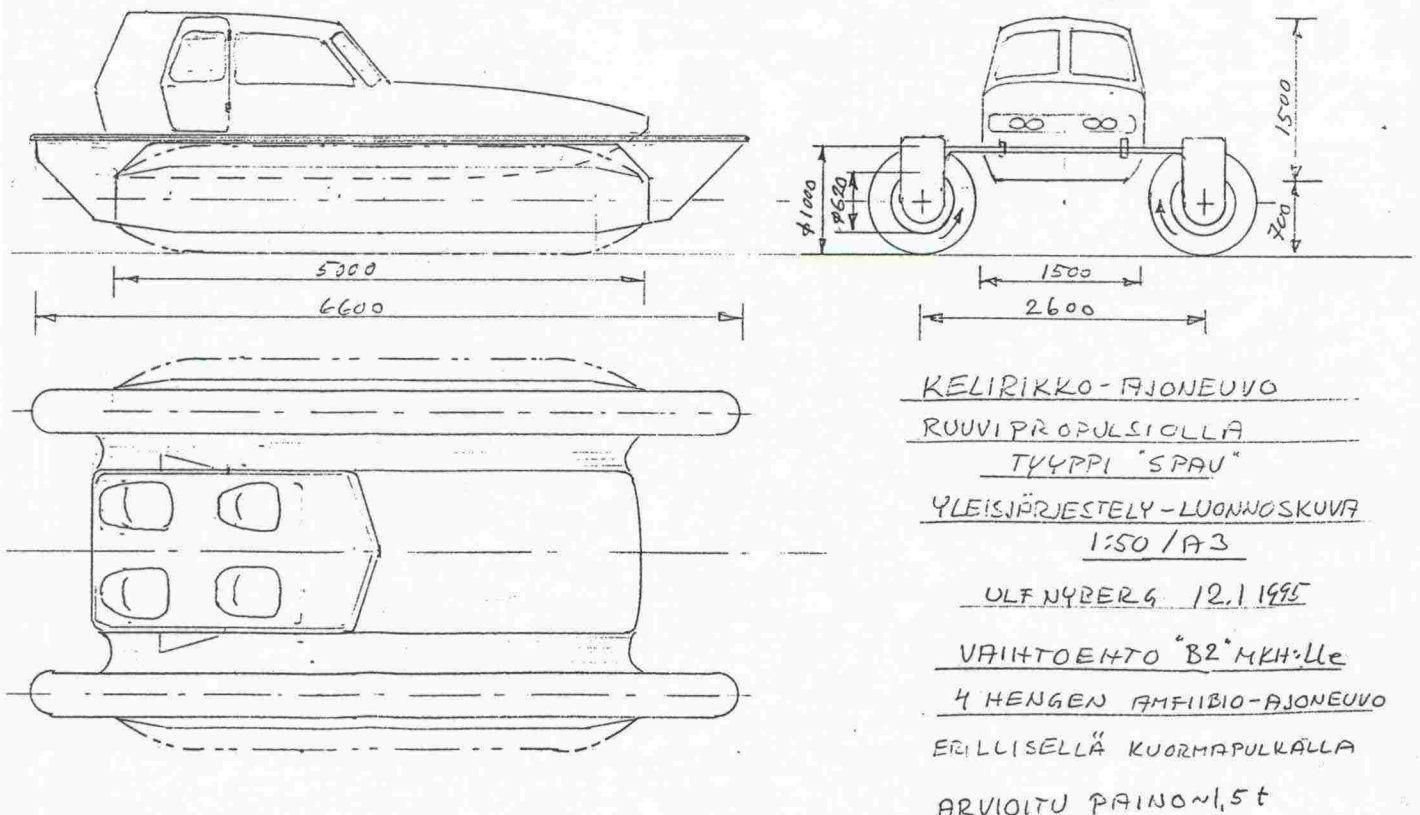
## 1 JOHDANTO

Merenkulkuhallitus tilasi 7.2.1995 VTT:n Valmistustekniikan osaston Laiva- ja konetekniikan tutkimusalueelta arviointityön, jonka tavoitteena oli selvittää Ulf Nybergin suunnitteleman "SPAV" versio B2:n käyttökelpoisuus uuden jääkulkuneuvon suunnittelutuön pohjana.

Arvioinnissa on pyritty saamaan selville suunnitellun kulkuneuvon suorituskyky niissä olosuhteissa, joissa kulkuneuvon voisi olettaa kohtaavan vaikeuksia. Arvioinnissa ei ole puututtu kone-, rakenne- tai materiaalitekniisiin ratkaisuihin.

## 2 JÄÄKULKUNEUVON TIEDOT

Tässä tarkasteltu kulkuneuvo on Ulf Nybergin suunnittelema "SPAV" versio B2. Kulkuneuvo koostuu rungosta, jossa sijaitsevat neljän hengen ohjaamo ja koneistotilat, sekä kahdesta lieriömäisestä ponttoonista, joiden pintaa kiertää koko pituudelta vakionousuinen kierre (Archimeden ruuvi). Yhden ponttoonin uppouma riittää kannattamaan koko laitteen painon vedessä. Kulkuneuvon liike saadaan aikaan ponttooneita pyörittämällä. Kulkuneuvossa ei ole varsinaisia tavarankuljetustiloja, vaan kuljetettava lasti sijoitetaan erilliseen perässä vedettävään pulkkaan. Kulkuneuvon yleisjärjestely on esitetty kuvassa 1 ja päämittatiedot taulukossa 1.



Kuva 1. "SPAV" versio B2:n yleisjärjestely.

Taulukko 1. "SPAV" versio B2:n päämitat.

Suurin pituus	6.60 m
Suurin leveys	3.60 m
Suurin korkeus	2.20 m
Syväys vedessä	0.50 m
Kokonaispaino	1.5 ton
Ruuviponttoonin tiedot:	
pituus:	5.00 m
kierteen ulkohalkaisija:	1.00 m
ponttoonin halkaisija:	0.62 m
kierteen korkeus:	0.19 m
kierteen nousukulma:	50°
pituus/ponttoonin halkaisija:	8
kierteen korkeus/ponttoonin halkaisija:	0.3

## 3 SUORITUSKYKY

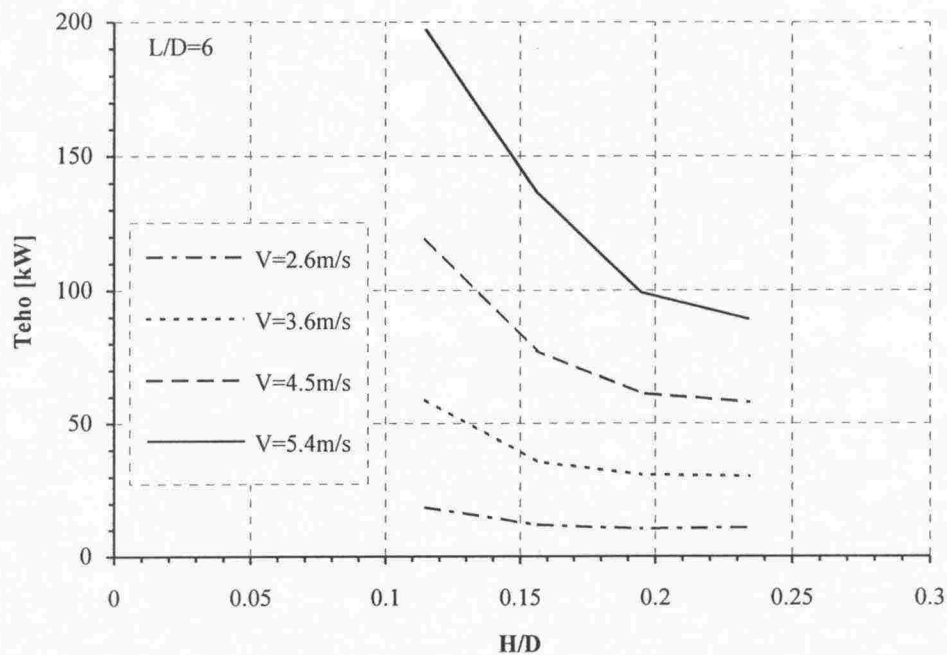
### 3.1 YLEISTÄ

Kulkuneuvolla on kyettävä liikkumaan vedessä, lumihangessa, lumettomalla jäällä, valliintuneessa jääkentässä sekä sillä on voitava ylittää laivarännejä. Lisäksi kulkuneuvolla on kyettävä siirtymään vedestä jäälle ja päinvastoin. Tässä tarkastelussa varsinaiset laskelmat on suoritettu liikkumiselle vedessä sekä paksussa lumihangessa. Laskelmien periaatteet on esitetty luvuissa 3.2 ja 3.3 ja suorituskyyennusteet luvussa 3.4. Selviytyminen muissa olosuhteissa on arvioitu näiden laskelmien tulosten perusteella, ennusteet on myös esitetty luvussa 3.4. Perusaineisto suorituskyytarkasteluun on saatu lähteestä /2/, jossa on tutkittu mallikokeilla ruuviponttoonin suoritussarvoja vedessä, hiekassa ja mudassa. Hiekassa tehtyjen mallikoetulosten soveltamisessa lumelle tarvittavat tiedot lumen ja hiekan ominaisuuksista on saatu lähteistä /1/ ja /3/.

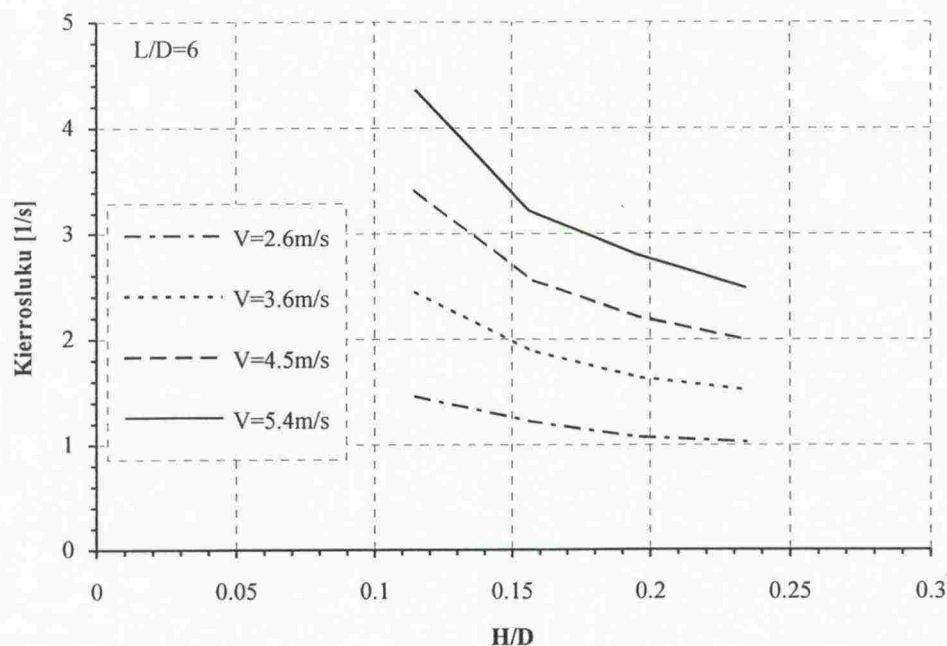
### 3.2 LASKELMAT VEDESSÄ

Lähteessä /2/ on esitetty mallikoetuloksia ruuviponttoonille vedessä. Kokeissa vaihdeltiin ponttoonin pituuden ja kierteen korkeuden suhdetta ponttoonin halkaisijaan sekä kierteen nousukulmaa. Kokeet tehtiin ponttoonin ollessa upotettuna eri syväyksille. Suurin osa mallikoetuloksista on dimensiottomien kertoimien muodossa, joten niitä voitiin helposti soveltaa tässä tarkasteltavaan tapaukseen. Lähteestä saadut suoritussarvot vastaavat muilta osin tässä tarkasteltavan kulkuneuvon päämittasuhteita, mutta kierteen korkeuden suhde ponttoonin halkaisijaan oli kaikissa kokeissa pienempi. Kuvissa 2 ja 3 on tarkasteltu kierteen korkeussuhteen vaikutusta eri nopeuksilla tarvittavaan tehoon ja ponttoonin pyörimisnopeuteen. Kuvien perusteella näyttää siltä, että suurimmalla kierteen korkeussuhteella tehtyjä mallikoetuloksia voidaan käyttää tässä tarkasteltavalle kulkuneuvolle.





Kuva 2. Kulkuneuvon tehontarve vedessä eri nopeuksille kierteen korkeussuhteen funktiona. Käyrät on määritetty pituus-halkaisijasuhteelle 6.

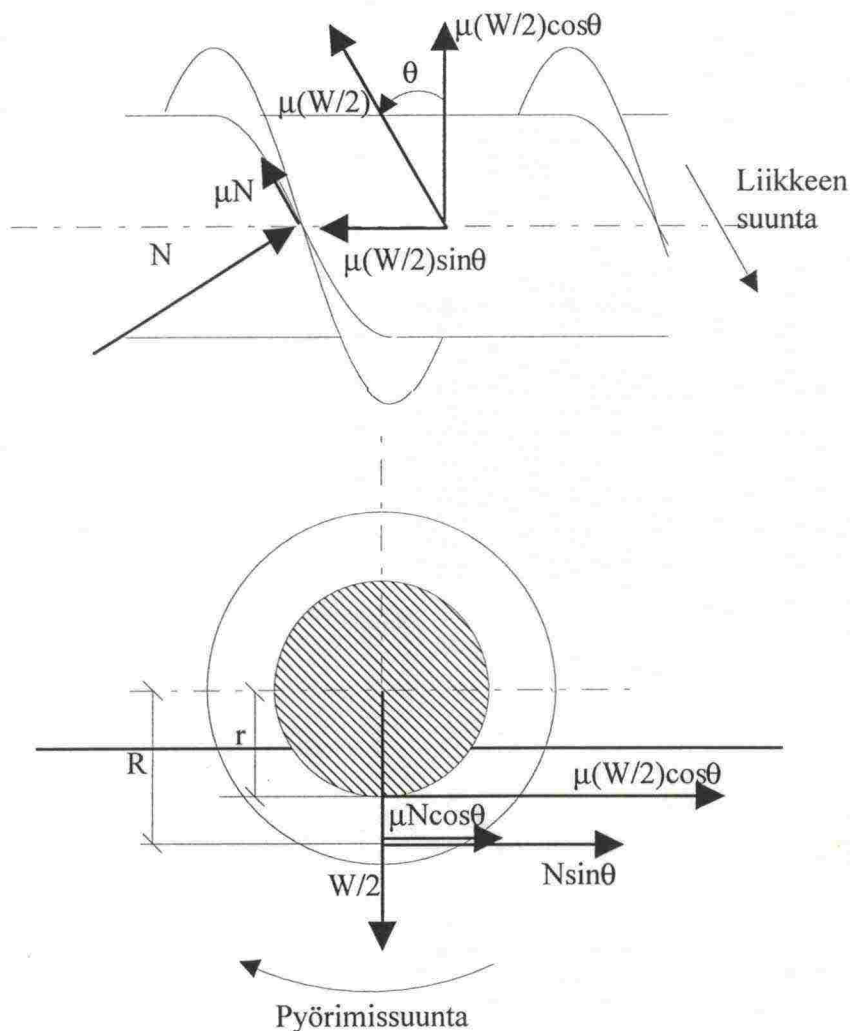


Kuva 3. Ponttoonin pyörimisnopeus eri nopeuksille kierteen korkeussuhteen funktiona. Käyrät on määritetty pituus-halkaisijasuhteelle 6.

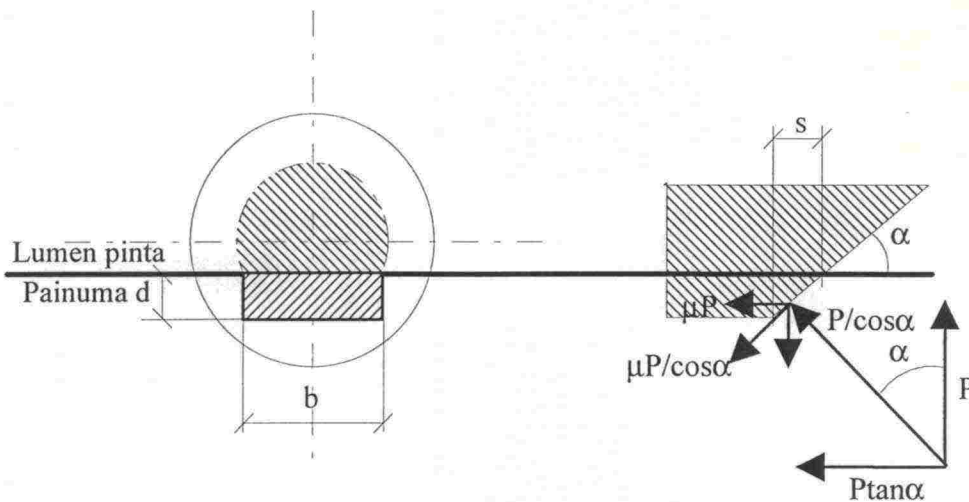
### 3.3 LASKELMAT LUMESSA

Laskelmat kulkuneuvon suorituskyvystä lumessa tehtiin arvioimalla ensin etenemiseen tarvittava työntö ja ponttoonien pyörittämiseen tarvittava momentti. Kuvassa 4 on kaavio ruuviponttoonin vaikuttavista voimista ja kuvassa 5 keulaosaan vaikuttavista voimista. Voimat riippuvat lumen tiheydestä, kulkuneuvon painumasta hankeen sekä kulkuneuvon lumea vasten olevien pintojen ja lumen välisestä kitkakertoimesta.

## Ruuviponttooni nähtynä alta



Kuva 4. Ruuviin vaikuttavat voimat.



Kuva 5. Keulan voimat.

Oletetaan, että kulkuneuvon kokonaisvastus on  $R_{tot}$  (yhteen ponttoonin kohdistuva kokonaisvastus on  $R_{tot}/2$ ) ja yhden ponttoonin pyörittämiseen vaadittava kokonaisvääntömomentti on  $Q$ .

Kokonaisvastus  $R_{tot}/2$  voidaan jakaa ruuviponttoonin rungon pitkittäiseen kitkavoimaan (kuva 9) ja keulassa tapahtuvasta lumen painamisesta aiheutuvaan pitkittäisvoimaan (kuva 10). Vastus voidaan esittää kaavana seuraavasti:

$$\frac{R_{tot}}{2} = \mu \left( \frac{W}{2} \right) \sin \theta + P \tan \alpha + \mu P,$$

jossa  $W$  on kulkuneuvon kokonaispaino  
 $\mu$  on rungon pinnan ja lumen (hiekan) välinen kitkakerroin  
 $\theta$  on kierteen nousukulma  
 $P$  on lumen tiivistämiseen painuman verran tarvittava pystyvoima  
 $\alpha$  on keulan kaltevuuskulma

Yhden ponttoonin pyörittämiseen tarvittava vääntömomentti voidaan esittää kierteesen vaikuttavista voimista aiheutuvan vääntömomentin ja rungon kitkavoimista aiheutuvan vääntömomentin summana seuraavasti:

$$Q = \frac{\frac{R_{tot}}{2} R (\sin \theta + \mu \cos \theta)}{\cos \theta - \mu \sin \theta} + \mu r \left( \frac{W}{2} \right) \cos \theta,$$

jossa  $r$  on ponttoonin rungon säde  
 $R = r + 0.7 \times H$  missä  $H$  on kierteen korkeus.

Voiman  $P$  arvioimisessa lumelle voidaan käyttää lähteessä /1/ olevia käyriä, joissa on esitetty levymäistä kappaletta työnnettäessä lumeen siihen kohdistuva paine tunkeuman funktiona. Arvioinnissa oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että keula tekee lumeen poikkileikkaukseltaan suorakaiteen ( $b \times d$ ) muotoisen uran (kuva 10). Keulan edetessä matkan  $s$  on keulaan kohdistuva keskimääräinen pystyvoima karkeasti:



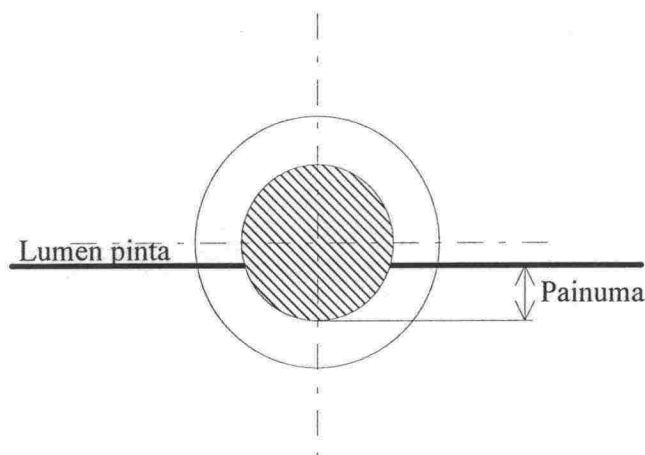
$$P = \frac{1}{2} pbs,$$

missä  $p$  on pinta-alaan ( $b \times s$ ) kohdistuva paine kun painuma on  $d$ .

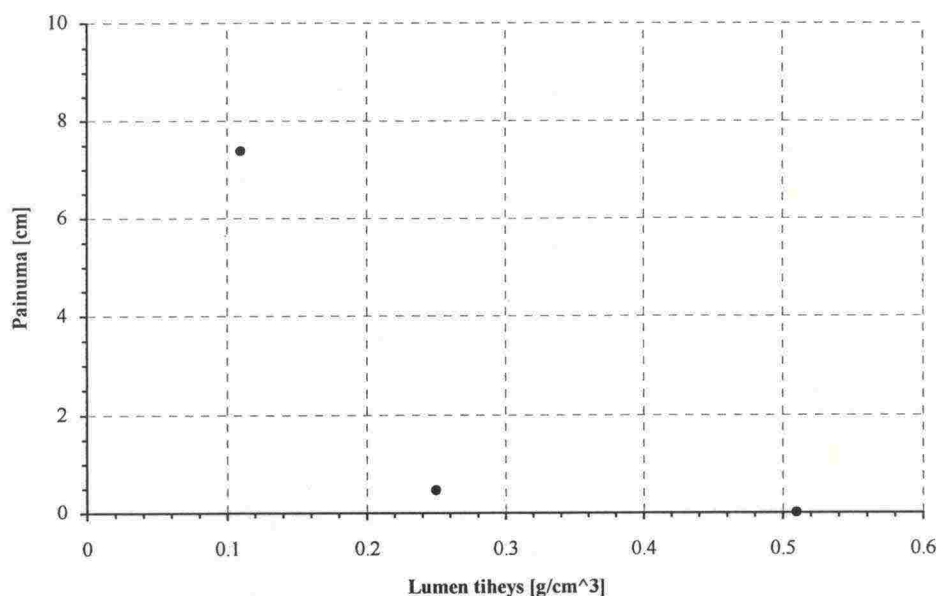
Painuma on riippuvainen lumen tiheydestä. Lähteessä /1/ on lumen tiheydelle annettu seuraavia arvoja:

- uusi lumi  $\rho = 0.11 \text{ g/cm}^3$
- tuulen tiivistämä hanki  $\rho = 0.25 \text{ g/cm}^3$
- kova hanki  $\rho = 0.51 \text{ g/cm}^3$

Kulkuneuvon painosta aiheutuvaa staattista painumista hankeen voidaan arvioida käyttäen ns. penetrometrilla mittattuja tuloksia, jotka on saatu lähteestä /1/. Tarkastelussa on oletettu, että lumen tukivoima kohdistuu kokonaan ponttoonin, ei kierteeseen. Tässä painumalla tarkoitetaan ponttoonin painumaa lumeen (Kuva 6.). Kuvassa 7. staattinen painuma on esitetty lumen tiheyden funktiona.



Kuva 6. Painuman määrittely.



Kuva 7. Kulkuneuvon staattinen painuma lumen tiheyden funktiona.

Kulkuneuvon lumea vasten olevien pintojen ja lumen välinen kitkakerroin riippuu ilman lämpötilasta. Alhaisimmillaan kitkakerroin on noin 0.03 teflonpinnoitetuille pinnoille n. 0°C:n lämpötilassa, erittäin kovalla pakkasella kitkakerroin voi olla jopa 10-kertainen. Tässä tarkastelussa on kitkakertoimen miniminä käytetty arvoa 0.1 ja maksimina arvoa 0.2.

Laitteen suorituskykyyn lumessa vaikuttaa luisto, joka tässä määritellään seuraavasti:

$$S[\%] = 100 \times \left( \frac{V}{n2\pi r \tan \theta} \right)$$

missä V on etenemisnopeus  
n on ponttoonin pyörimisnopeus  
r on ponttoonin säde  
θ on kierteen nousukulma

Luiston voidaan olettaa olevan verrannollinen lumen leikkauslujuuteen. Koska lumen kantokyky ja leikkauslujuus ovat riippuvaisia lumen tiheydestä, voidaan pahimman tilanteen olettaa olevan pienitiheyksisellä uudella lumella, jolloin painuma ja luisto ovat suurimmat. Tästä johtuen suorituskykylaskelmat on tehty uudelle lumelle.

Lähteessä /2/ on mallikoetuloksia ruuviponttoonin suorituskyvystä hiekassa käyrinä, joissa kulkuneuvon aikaansaama kulkuvastuksen ylittävä pitkittäisvoima verrattuna kulkuneuvon painoon on esitetty luiston funktiona. Lähteiden /1/ ja /3/ mukaan hiekan ja uuden lumen leikkauslujuudet ovat lähes samaa luokkaa (kuva 8), joten lähteen /2/ tuloksia luiston määrittämisessä on tässä tarkastelussa käytetty suoraan hyväksi.

Kaikki mallikokeet hiekassa tehtiin alhaisemmalla kierteen korkeussuhteella kuin on tarkasteltavassa kulkuneuvossa, mutta tällä ei näyttäisi hiekassakaan, samoin kuin vedessä, olevan kovin suurta vaikutusta pitkittäisvoimaan (kuva 9). Sen sijaan pituus-halkaisijasuhteella on suuri vaikutus pitkittäisvoimaan (kuva 10) joten laskelmissa on käytetty kierteen korkeussuhteella 0.115 ja 50°:n nousukulmalla sekä ponttoonin pituus-halkaisijasuhteella 6 mitattuja tuloksia, jotka on korjattu pituus-halkaisijasuhteeseen 8 käyttäen kuvan 10 40°:n nousukulmalla mitattuja riippuvuuksia. Luiston ja pitkittäisvoiman riippuvuudelle saatiin siten kuvan 11 mukainen kuvaaja.

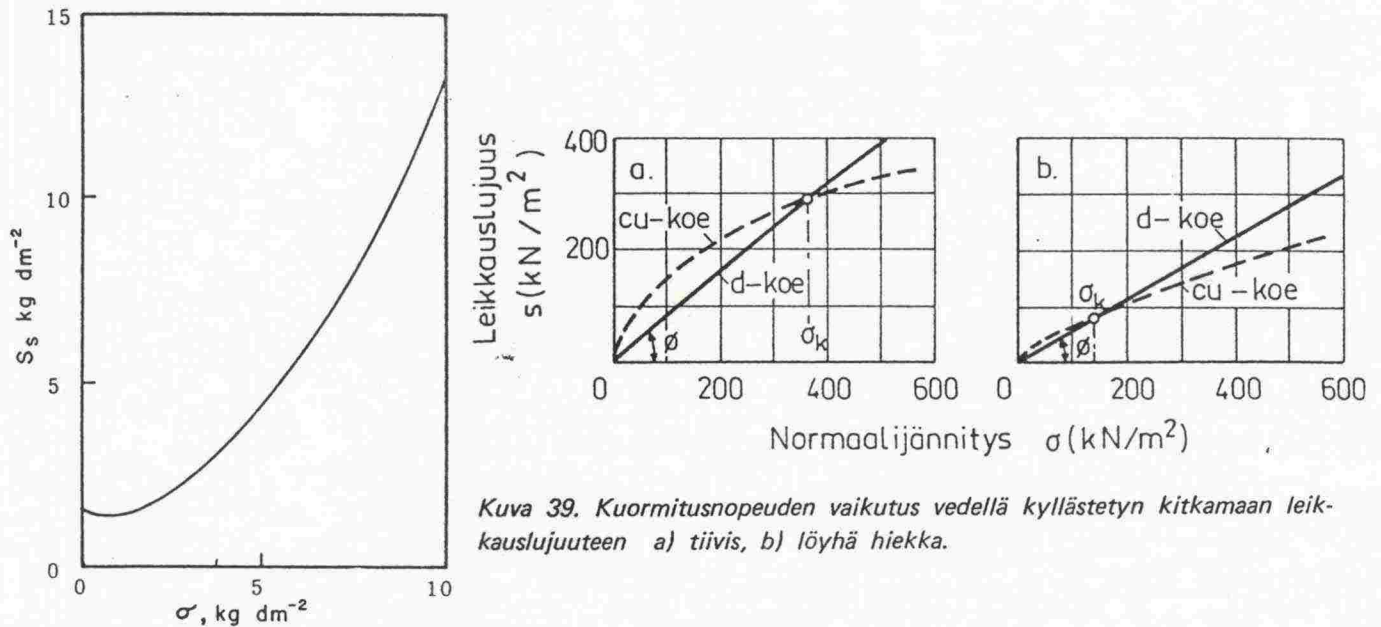
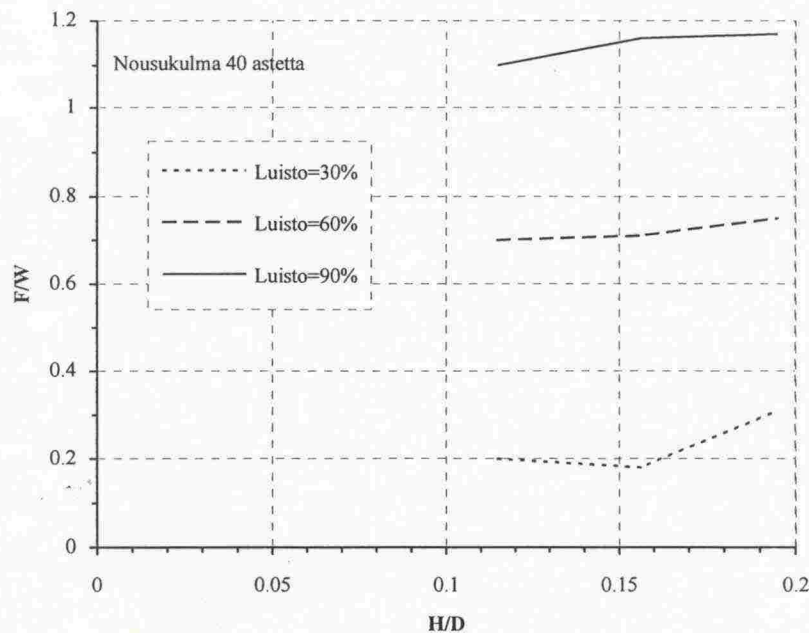


Figure III-28a. Shear strength as a function of normal pressure for new, slightly wind-packed snow. (ref. 31)

Kuva 8. Uuden lumen /1/ ja hiekan /3/ leikkauslujuudet normaalivoiman funktiona.

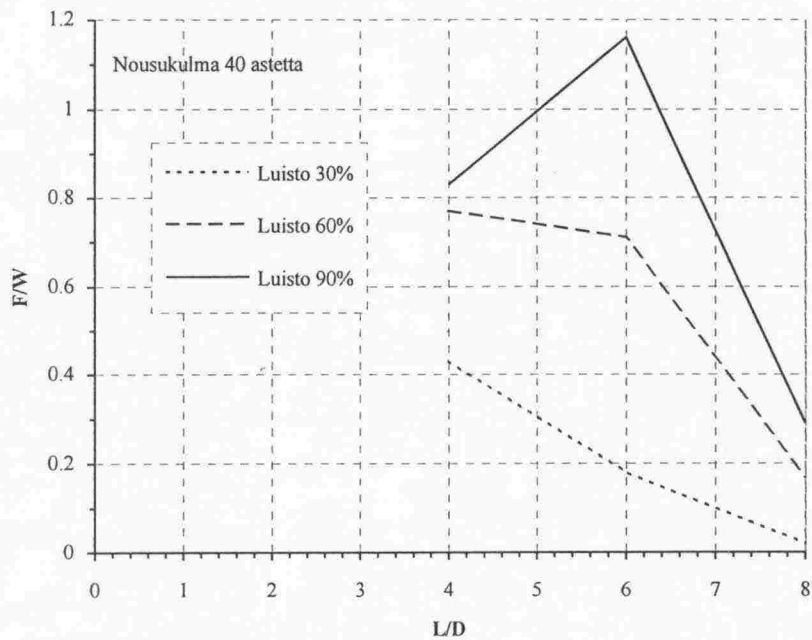
#### Kierteen korkeus-halkaisijasuhteen vaikutus



Kuva 9. Kierteen korkeussuhteen vaikutus pitkittäisvoiman ja kulkuneuvon painon suhteeseen.

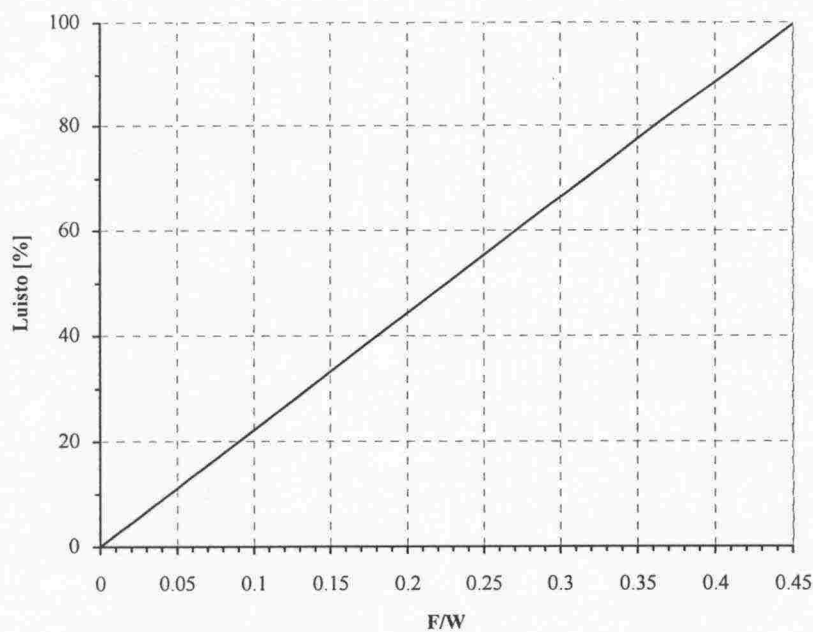


## Pituus-halkaisijasuhteen vaikutus



Kuva 10. Ponttoonin pituus-halkaisijasuhteen vaikutus pitkittäisvoiman ja kulkuneuvon painon suhteeseen.

## Kulkuneuvon luisto lumessa

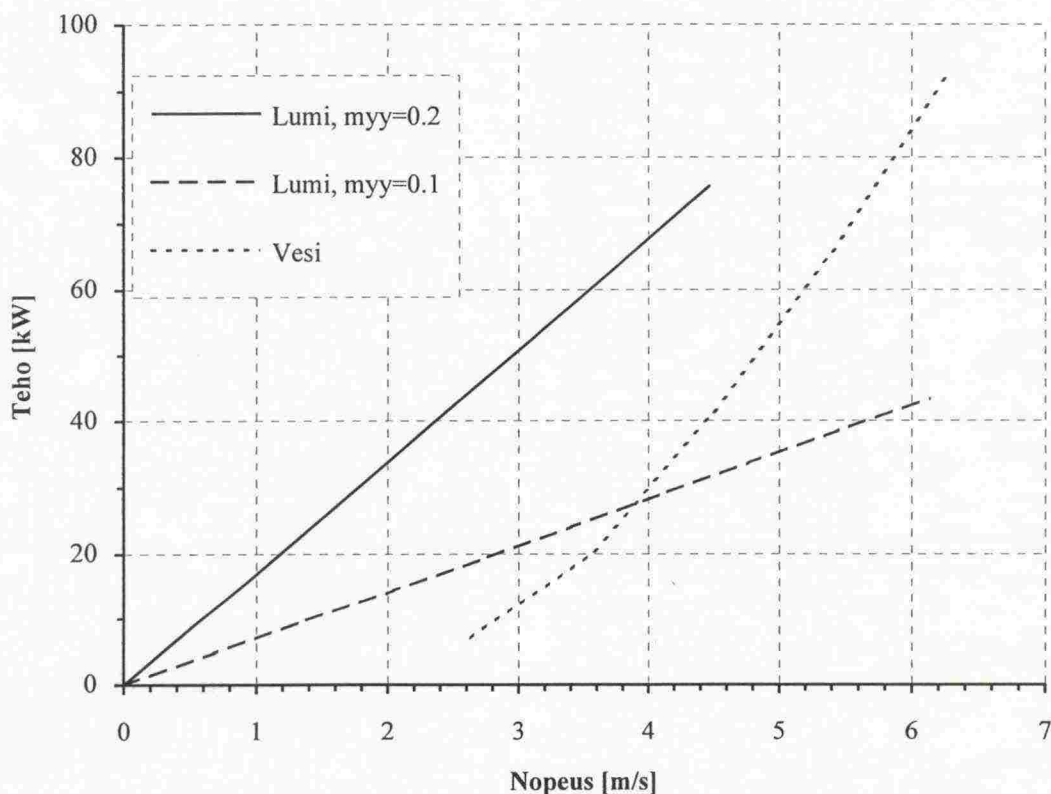


Kuva 11. Laskelmissa käytetty luiston riippuvuus pitkittäisvoiman ja kulkuneuvon painon suhteesta.

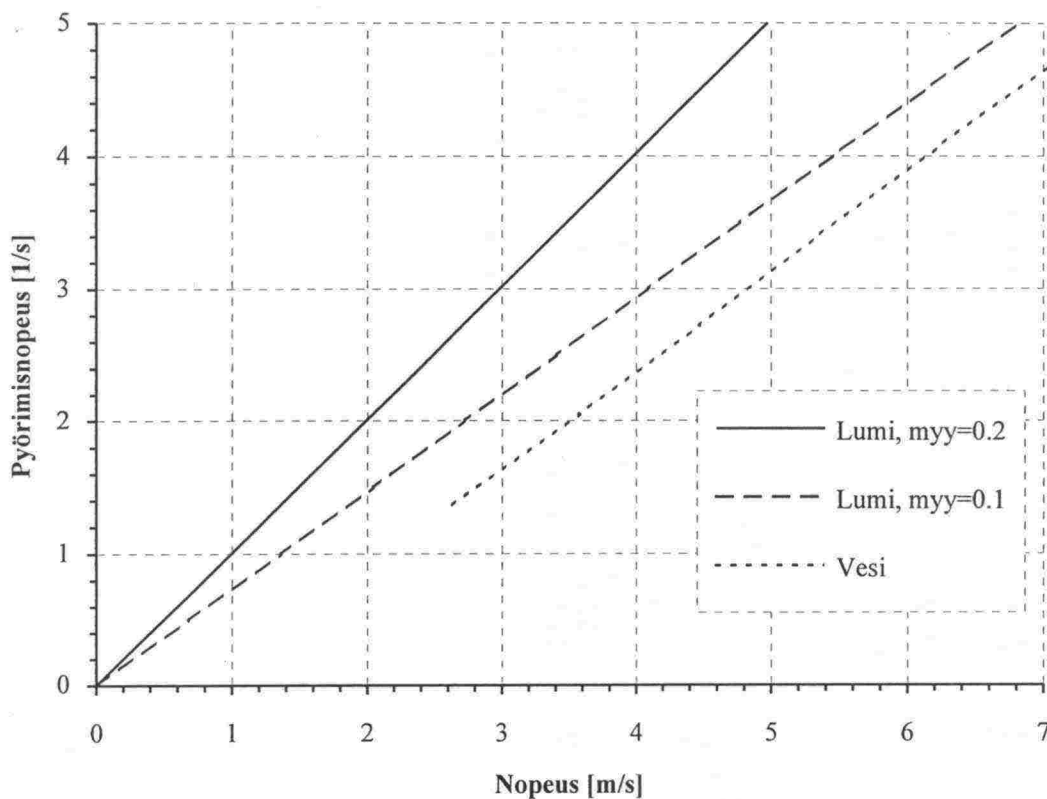
### 3.4 SUORITUSKYKY ERI OLOSUhteissa

#### 3.4.1 Eteneminen

Kuvassa 12 on esitetty kulkuneuvon tarvitsema teho nopeuden funktiona vedessä ja uudessa lumessa. Lunta vasten olevien pintojen ja lumen väliselle kitkakertoimelle on laskelmissa käytetty kahta arvoa, joista  $\mu = 0.1$  vastaa lähellä  $0^{\circ}\text{C}$  olevaa lämpötilaa ja hyväkuntoista pinnoitetta sekä  $\mu = 0.2$  kovaa pakkasta ja jonkin verran kulunutta pinnoitetta. Lisäksi laskelmissa on kulkuneuvon painuman oletettu olevan staattista painumaa suuremman, eli painuma on otettu ponttoonin säteen (= 31 cm) suuruiseksi. Kuvaan 13 on piirretty vastaavat ponttoonin pyörimisnopeudet nopeuden funktiona.



Kuva 12. Kulkuneuvon tehontarve lumessa ja vedessä nopeuden funktiona. Tehoarvoissa ei ole huomioitu voimansiirrossa tapahtuvia häviöitä.



Kuva 13. Ponttoonin pyörimisnopeus lumessa ja vedessä nopeuden funktiona.

Mikäli kulkuneuvon propulsiotehon ylärajana pidetään 60 kW ja ponttoonien pyörimisnopeuden ylärajana 5 1/s, saadaan kulkuneuvon maksiminopeuksiksi laskelmien mukaan taulukon 2 mukaiset arvot.

Taulukko 2. "SPAV B2":n maksiminopeudet paksussa uudessa lumessa ja vedessä. Tehon yläraja 60 kW ja pyörimisnopeuden yläraja 5 1/s.

Olosuhde	Nopeus
Paksu uusi lumi, $\mu = 0.1$	7 m/s
Paksu uusi lumi, $\mu = 0.2$	3.5 m/s
Vesi	5 m/s

Jos jää päällä olevan lumikerroksen paksuus on pienempi kuin kierteen korkeus, on kulkuneuvon vastus pieni, joten maksiminopeudet ovat korkeammat kuin taulukossa lumelle esitetyt arvot.

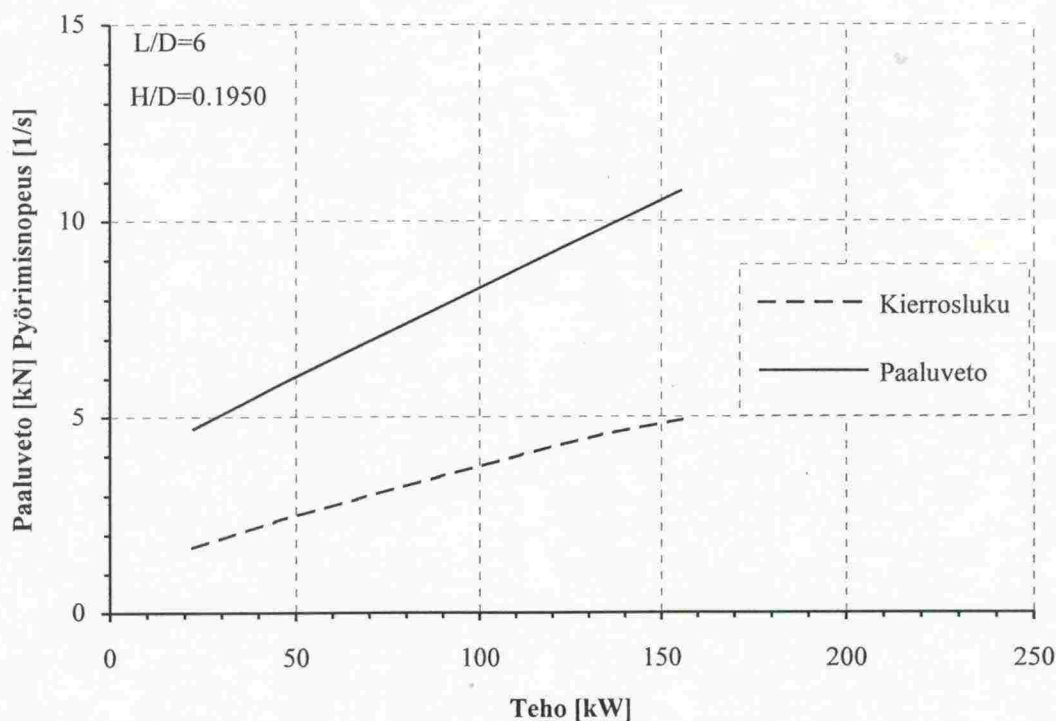


Lähteessä /4/ on esitetty Mitsui Engineering and Shipbuilding Co. Ltd:n rakentaman kulkuneuvon AST-001 maksiminopeudeksi jäällä 2.5 m/s ja vedessä 1.6 m/s. Kulkuneuvon konetehto oli 40 hv ja paino 1.6 tonnia. Lähteessä ei ilmoitettu, millä teholla maksiminopeudet oli saavutettu.

Huomionarvoisena seikkana on pantava merkille, että tarkasteltavana olevan kulkuneuvon ponttoonin päämittasuhteet eivät vastaa lähteessä /2/ esitettyjä optimiarvoja. Lähteen mukaan paras ponttoonin pituus-halkaisijasuhde vedessä on 6 ja hiekassa 4, kun taas tässä tarkasteltavan laitteen vastaava suhdeluku on 8.

### 3.4.2 Paaluveto

Yksi kulkuneuvon suorituskykyä kuvaava suure on paaluveto. Lähteessä /2/ tehtiin yhdellä ruuviponttooniversiolla paalukoe vedessä, jonka tulokset ponttoonin pituuden mukaan skaalattuna on esitetty kuvassa 14. Ponttoonin pituuden suhde halkaisijaan samoin kuin kierteen korkeuden suhde halkaisijaan olivat mallikokeen laitteella pienemmät kuin tutkittavalla kulkuneuvolla, mutta tulos antaa käsityksen paaluvoiman suuruudesta.



*Kuva 14. Kulkuneuvon paaluveto ja ponttoonien pyörimisnopeus vedessä tehon funktiona. Tehoarvoissa ei ole huomioitu voimansiirrosta tapahtuvia häviöitä.*

100%:n luistolla tarkasteltavan kulkuneuvon paaluveto pehmeässä lumessa on n. 7 kN. Lumen tiheyden kasvaessa sen leikkauslujuuskin kasvaa, joten kovassa lumessa paaluveto on edelläolevaa arvoa suurempi.

Mitsuin AST-001:lle on lähteessä /4/ ilmoitettu jäällä paaluvedoksi n. 17.7 kN ja vedessä 2.9 kN, lähteessä ei kuitenkaan mainita millä teholla arvot oli saavutettu, ja oliko jään pinta tasainen.

### 3.4.3 Esteiden ylitys

Uudessa lumessa, ottaen huomioon lumen kantokyvyn leikkauksen suhteen, ruuviponttoonin pinnan ja lumen välisen kitkakertoimen ollessa 0.1 kulkuneuvo pystyy nousemaan ylös rinnettä, jonka kaltevuus on alle 25°. Mikäli kitkakerroin on 0.2, on vastaavan kaltevuuden oltava alle 12°.

Nousu vedestä kiintojälle ei Mitsuin kulkuneuvolla lähteessä /4/ esitettyjen kokemusten mukaan tuota ongelmia, mikäli kummankin ponttoonin kierroslukua voidaan säätää erikseen nopeasti. Mitsuin laitteessa ponttoonin pituuden suhde halkaisijaan oli pienempi (=6), kierteen nousukulma oli pienempi kuin tarkasteltavalla kulkuneuvolla (kuvien perusteella ehkä n.30°) ja kierteen korkeus suhteessa ponttoonin halkaisijaan oli pienempi. Lisäksi ponttoonin etupää oli suippo, mikä aiheuttaa sen, että kierre pääsee tarttumaan jään reunaan varsin pienellä viippauskulmalla. Vaikka tarkasteltavan kulkuneuvon työntö vedessä sen puskiessa jään reunaa vasten on riittävä viippaamaan kulkuneuvoa niin paljon, että kierre pääsee tarttumaan jäähän, on syytä muotoilla ponttoonin etupää mahdollisimman suipoksi, jotta varmistettaisiin jäälleenousu sellaisissakin tilanteissa, joissa jään reuna ei ole vedenpinnan tasolla.

## 4 KRIITTISET OLOSUHTEET JA RASITUKSET

Esteen kulkuneuvon liikkumiselle asettavat sellaiset alueet, joissa on ruuviponttoonin korkeuden ylittäviä, jyrkkäseinäisiä kohoumia niin tiheässä, ettei kulkuneuvo pääse niitä kiertämään. Tällaisia alueita ovat esim. ahtautuneet jääkentät sekä paljon liikennöidyt laivarännit kylminä talvina, jolloin rännipalat kasvavat vuorottaisen kastumisen ja jäätyamisen seurauksena. Nämä tosin ovat olosuhteita, joissa muidenkin pintakulkuneuvojen on vaikeaa liikkua.

Ruuviponttoonin laakerointiin ja kierteen harjoihin kohdistuu suuria iskumaisia rasituksia liikuttaessa avovedessä, jossa kelluu jääpaloja, koska vedessä eteneminen vaatii suurta ponttoonin pyörimisnopeutta. Vastaava tilanne esiintyy liikuttaessa paksussa uudessa lumessa, jossa lumihangen sisällä on pinnalle näkymättömiä jäähuippuja. Suuria rasituksia kohdistuu ponttoonin kierteisiin ja laakerointiin myös noustaessa avovedestä jälle kierteiden tarttuessa jään reunaan, koska riittävän alkuviippauksen aikaansaamiseksi on käytettävä suurta ponttoonien pyörimisnopeutta.

Ponttoonin suunnittelu on kokonaisuudessaan vaativa tehtävä. Riittävän tartuntakyvyn aikaansaamiseksi tasaiseen lumettomaan jäähän olisi kierteen harjan oltava kapea, ja toisaalta suuret iskumaiset kuormat edellyttävät tukevaa rakennetta. Tehonkulutus lumessa ja jäällä on riippuvainen ponttoonin pinnan ja alustan välisestä kitkakertoimesta, jota voidaan pienentää erilaisilla pinnoitteilla. Pinnoitteet saattavat kuitenkin helposti vioittua joko edellämainittujen jääiskujen seurauksena tai rantojen läheisyydessä liikuttaessa kolhiintumisesta kiviin.



## 5 YHTEENVETO

Laskelmien perusteella arvioitavana oleva kulkuneuvo "SPAV B2" pystyy etenemään yleisimmissä jäätilanteissa Suomen rannikkoalueilla. Suurimman esteen muodostavat laajat valliintuneet jääkentät ja raskaat, paljon liikennöidyt laivarännit. Mikäli propulsiotehon ja ponttoonien pyörimisnopeuden ylärajat ovat 60 kW ja 5 1/s, saadaan maksiminopeudeksi paksussa uudessa lumessa, uudella ponttoonien pinnoitteella 7 m/s ja 3.5 m/s kuluneella pinnoitteella. Mikäli jään päällä on ohut kerros kovaa lunta, ovat maksiminopeudet lumen nopeuksia korkeammat. Vedessä vastaava maksiminopeus on 5 m/s.

Laskelmien tuloksena saadut nopeus- ja tehoarviot eivät kuitenkaan ole riittävän tarkkoja, jotta niitä voitaisiin käyttää varsinaisen kulkuneuvon suunnittelussa, sillä niiden perustana olevien mallikoetulosten hyödyntäminen on vaatinut joitakin oletuksia (esim. lumen ja hiekan samankaltaisesta kitkakäyttäytymisestä), joiden tarkistaminen vaatii laajempia selvityksiä. Luotettavin tapa näiden selvitysten tekemiseen on joko malli- tai prototyyppikokeiden suorittaminen todellisissa olosuhteissa. Tärkeätä olisi etenkin saada lisätietoja ruuviponttoonin päämittaparametrien vaikutuksesta suorituskykyyn lumessa ja jäällä, sillä esimerkiksi tässä tarkasteltavana olevan kulkuneuvon ruuviponttoonin pituus-halkaisijasuhde ei vastaa lähteessä /2/ esitettyjä optimiarvoja.

Ruuviponttoonien laakeroinnin ja kierteiden mitoituksessa on otettava huomioon niihin kohdistuvat iskumaiset rasitukset ponttoonin pyörimisnopeuden ollessa suuri liikuttaessa vedessä tai lumihangessa. Ranta-alueilla myös iskeytyminen kiviin on mahdollista.

Jäällä ja lumessa etenemiseen vaikuttaa voimakkaasti ruuviponttoonin pinnoitteen laatu, sillä ruuviponttoonin pinnan ja lumen tai jään välisen kitkakertoimen kasvaessa kasvaa myös tehontarve. Pinnoitteiden käyttö on kuitenkin ongelmallista, koska kierteisiin kohdistuvat iskut ja kuluminen voivat vioittaa pinnoitetta.

Tämän arvioinnin perusteella ei tarkasteltavassa kulkuneuvossa ole havaittu mitään ratkaisevia periaatteellisia epäkohtia, joten sitä voidaan käyttää uuden jääkulkuneuvon suunnittelutyön pohjana.



## LÄHDELUETTELO

1. Sanger, F., J., "Properties of snow", Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Hanover 1964, 105 s.
2. Kress, R., F., "Design manual for buoyant screw propulsion", Chrysler Corporation research report, Detroit 1965.
3. Helenelund, K., V., "Maarakennusmekaniikka", Teknillisen Korkeakoulun Ylioppilaskunnan julkaisu n:o 137, Espoo 1976
4. Oshima, M., Komoto, M., Nakamura, M., "Development of archimedean screw tractor", OTC 1982:n julkaisu, Texas 1982.